

半導体デバイスなどを作製するうえで重要な情報であるキャリア濃度や移動度などは、テラヘルツ波 (THz 波) と言われる遠赤外線を使うことにより得られるが、これまでは半導体デバイスの分析に必要な空間分解能は実現できていなかった。ドイツのマックスプランク研究所の研究グループは、2.54THz (波長 118 μ m) の THz 波を用いて発生させた約 30nm の領域に局在する近接場光を使用し、波長の 1/3000 に相当する 40nm という空間分解能で THz 波像を得ることに成功した。透過電子顕微鏡や赤外線による観察では得られない半導体中のキャリア濃度の違いが、THz 波による像でのコントラストとして観測することができた。

トピックス 5 テラヘルツ波によりナノスケールでキャリア濃度を画像化

テラヘルツ波 (THz 波) とは、振動数がおよそ 0.1THz (テラヘルツ) から 10THz の可視光と電波の間に位置する電磁波である。波長で言えばおよそ 30 μ m から 3mm で、遠赤外線からミリ波に相当し、その応用分野は多岐にわたる。半導体でのプラズマ周波数がテラヘルツ帯にあるため、半導体デバイスなどを作製するうえで重要な情報であるキャリア濃度や移動度などを、非接触で計測できると期待されている。しかしながら、使用する光の波長の 1/2 以下の大きさの物体は光の回折現象により見ることができないという「回折限界」と呼ばれる原理的限界があるため空間分解能の高い計測は実現していなかった。

2008 年 10 月、ドイツのマックスプランク研究所の研究グループは、走査型プローブ顕微鏡のひとつである近接場顕微鏡の原理を THz 波に適用し、初めてナノスケールの空間分解能でトランジスタ中のキャリア濃度の分布像を得たと発表した¹⁾。

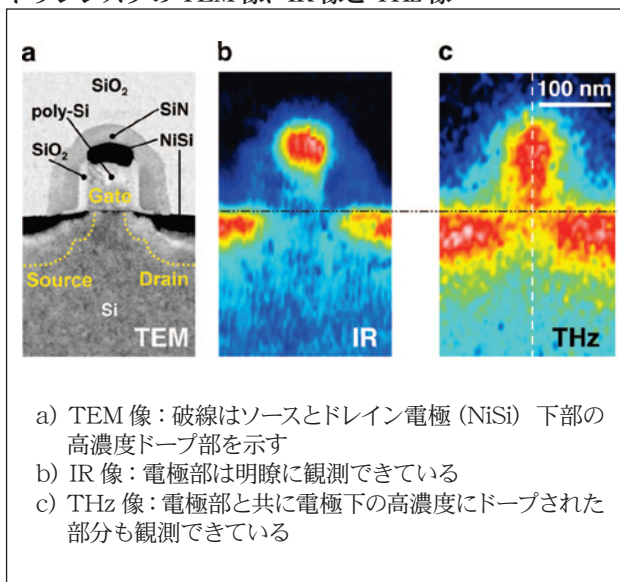
研究グループは、原子間力顕微鏡 (AFM) に使われる先端を白金コートしたシリコンカンチレバーの先端 (曲率半径約 30nm) に、メタノールガスレーザ (2.54THz、波長 118 μ m、連続発振) からのテラヘルツ波を集光して照射し、チップ先端の光の波長よりはるかに狭い領域に局在して発生する近接場光を利用した。試料により散乱された近接場光強度を検出器で計測した。干渉計の使用とカンチレバーを共振周波数 (35kHz) で振動させ信号に変調を加えることにより、バックグラウンド光の影響を低減し信号対ノイズ (S/N) 比の向上を図った。

近接場光の存在を確認するためチップと試料表面間の距離を変化させて散乱光強度を計測したとこ

ろ、約 30nm の距離で 1/e にまで減衰しており、実際にチップの先端部分に THz 波が局在していることが確認された。一方、数値計算によりチップ先端における電場を評価したところ、先端部では x,y,z の全方向についてほぼ 30nm に局在するという観測と良く一致する結果が得られた。

この方法で実際にナノスケールのトランジスタ構造を観察し、得られた像 (THz 像) を透過電子顕微鏡像 (TEM 像) や波長 11 μ m の赤外線像 (IR 像) と比較した (図表参照)。THz 像では、TEM 像や IR 像では見られない半導体中のキャリア濃度の違い、すなわちドーパ量の違いを画像化できた。さらに、そのラインプロファイルから、波長の 1/3000 に相当する 40nm の空間分解能が確認された。

トランジスタの TEM 像、IR 像と THz 像



出典: 参考文献¹⁾

参 考

- 1) Huber, A. J. et al., "Terahertz Near-Field Nanoscopy of Mobile Carriers in Single Semiconductor Nanodevices" Nano Lett. vol.8, 3766–3770 (2008)